

MEJORAMIENTO DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE ANTE UNA EXPOSICIÓN PROLONGADA DE AGUA POR EFECTO DE INUNDACIONES

Por. Ángel San Bartolomé, Daniel Cabrera y Walter Huaynate

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

RESUMEN

Con la finalidad de evitar el colapso de las viviendas de adobe convencional ante la exposición prolongada de agua causada por inundaciones, muy frecuentes en nuestro país, se analizaron experimentalmente tres técnicas que proporcionaron resultados satisfactorios.

1. INTRODUCCIÓN

Como resultado de nuestra diversidad climática, el Perú se ve afectado de manera periódica por lluvias intensas que generan inundaciones del tipo fluvial por el desborde de los ríos. Por otra parte, uno de los defectos más críticos del adobe tradicional es su alta vulnerabilidad ante la exposición prolongada en el agua de estas inundaciones, que pueden causar el colapso de las viviendas (Fig.1). De este modo fue necesario realizar esta investigación, donde se trató de encontrar tres soluciones sencillas y económicas para proteger la base de los muros de adobe a fin de que no se socaven por la acción del agua. Es necesario indicar que estas soluciones no protegen a las viviendas de adobe contra la acción de huaycos que arrastran grandes piedras.

Fig.1

Colapso de viviendas de adobe por inundación en el Cusco en el 2010.



La primera solución (muro MC), se basó en el reemplazo de la base de adobe tradicional por un sobrecimiento de concreto simple (no reforzado), el cual es un material resistente al agua. La segunda solución (muro ME), consistió en reemplazar en la zona expuesta al agua al adobe tradicional por adobe estabilizado con 5% de cemento. En la tercera solución (muro MT) se protegió la zona expuesta al agua con una capa de mortero cemento-arena (tarrajeo) aplicada sobre una malla de alambre debidamente conectada al muro.

Adicionalmente, con el objetivo de comparar las mejoras planteadas, se analizó el caso del adobe convencional, al cual se le denominó Muro Patrón (MP).

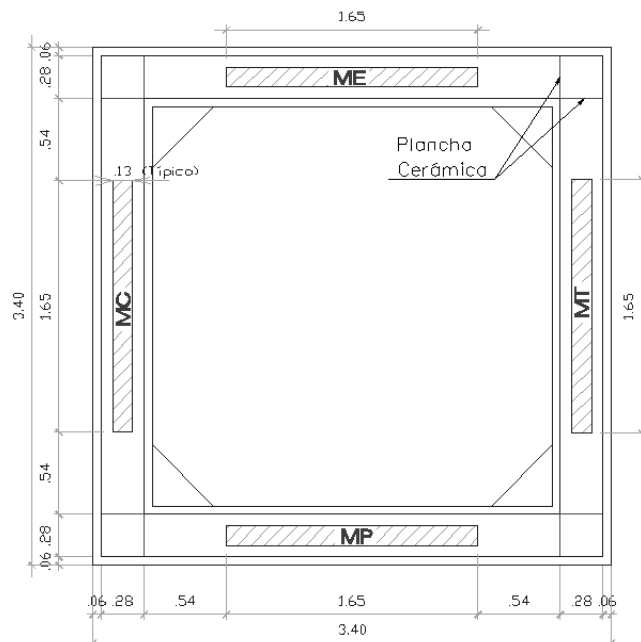
Se realizaron pruebas de laboratorio consistentes en ensayos de succión y absorción de unidades de adobe y una prueba de inmersión de muros con la finalidad de simular los efectos de una inundación controlada y recopilar datos sobre el desempeño de las diversas soluciones ante periodos tempranos y prolongados de exposición al agua.

2. CANAL IMPERMEABILIZADO

El canal en “U” utilizado para la inundación simulada es una estructura de concreto armado que fue adecuada para cumplir con los requisitos de impermeabilidad y estanqueidad. La adecuación consistió en segmentar el canal en cuatro secciones de iguales dimensiones (Fig.2), con la finalidad de obtener canales independientes y de esta forma analizar las variables de absorción, capilaridad y desempeño a lo largo del tiempo de cada muro. Se optó por utilizar cerámicas cortadas fijas en los extremos del canal. Después, se procedió con la impermeabilización del canal; este procedimiento consistió de cuatro pruebas de estanqueidad, dos reparación de fisuras y puntos de filtración, terminando con el impermeabilizado final mediante dos capas de la base polímera acrílica “Plasticoat”.



Fig.2
Características del canal empleado en la prueba de inundación. Prueba de estanqueidad y disposición en planta de los muros.



3. CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES DE ADOBE Y DE LOS MUROS

El ancho de las unidades de adobe fue dimensionado de tal modo que los muros en aparejo de soga presenten un espacio de 7.5cm respecto a la cara interna del canal, cuyo ancho interno era 28cm (Fig.2), de esta manera el ancho de los adobes fue definido en 13cm, mientras que su altura fue 7.5cm y su longitud 26cm.

Estas unidades fueron fabricadas por personal capacitado de una adobera de Huachipa y para el caso del adobe estabilizado (muro ME), se añadió al suelo seco 5% (en peso) de cemento Portland tipo 1, notándose en este caso que la mezcla húmeda se endurecía rápidamente.

3.1 Características Comunes de los Muros

A continuación se indica las propiedades comunes que tuvieron los cuatro muros (Fig.3).

Fig.3
Características de
los 4 muros.

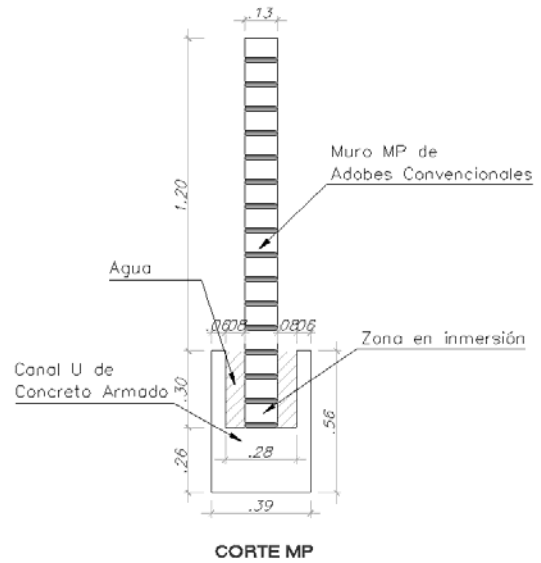


- Con excepción del muro MT cuyo espesor se incrementó por el tarrajeo colocado alrededor de su base, todos los muros cuentan con las mismas dimensiones: 1.50m de alto, 1.65m de largo y 0.13m de espesor.
- Se utilizó el mismo tipo de aparejo o amarre de “soga” para el asentado de los muros.
- Las hiladas impares estuvieron compuestas por 6 unidades enteras, mientras que las pares fueron conformadas por 5 unidades enteras y dos medias unidades.
- Todos los muros fueron construidos por el mismo personal para eliminar el factor de incertidumbre por variación en la mano de obra.
- Las juntas verticales y horizontales de los muros tuvieron 1.5cm de espesor y el mortero fue hecho con el mismo material utilizado en los adobes.

3.2 Características del Muro Patrón MP

El muro MP no presenta ninguna mejora y el mortero utilizado fue de barro, hecho con el mismo material con que se fabricaron los adobes. Las características de MP aparecen en la Fig.4.

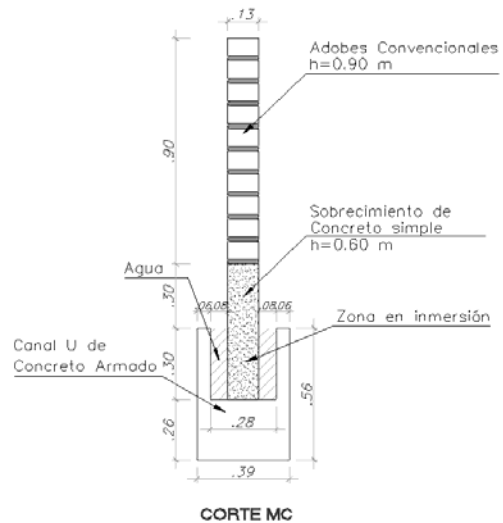
Fig.4
Muro MP



3.3 Características del Muro con Sobrecimiento de Concreto MC

Para la construcción del sobrecimiento de concreto simple (no reforzado), se utilizó concreto embolsado de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. No se detectaron cangrejeras ni fisuras. Este cimientó alcanzó una altura de 30cm por encima del nivel del agua y tuvo un espesor igual al del muro (Fig.5), el cual fue construido con adobes y mortero convencionales (similares a MP).

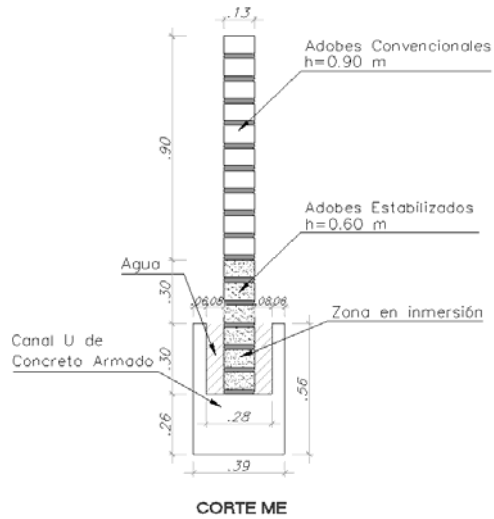
Fig.5
Muro MC



3.4 Características del Muro con Adobe Estabilizado ME

En el muro ME (Fig.6) desde la base del canal hasta una altura de 30cm por encima del nivel de agua, se utilizaron adobes estabilizados con 5% de cemento (en peso), asentados con mortero de barro estabilizado con la misma proporción de cemento, mientras que las hiladas superiores estuvieron compuestas por adobes y mortero convencionales, similares a MP.

Fig.6
Muro ME.
Nótese el color más claro del adobe estabilizado.

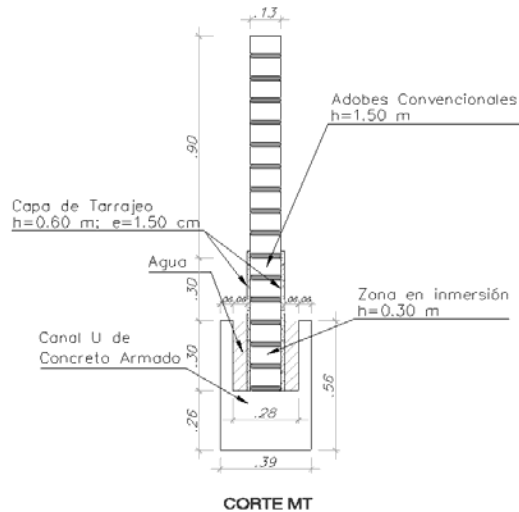


3.5 Características del Muro Tarrajado MT

El muro MT (Fig.7) fue construido totalmente con adobes y mortero de barro convencionales (similares a MP), y luego fue tarrajado con una mezcla cemento-arena fina 1:5, de 1.5cm de grosor, desde la base hasta una altura de 30cm por encima del nivel de agua. Con la finalidad de que el tarrajeo no se desprenda del muro (al humedecerse el adobe se expande), se ancló al muro una malla de gallinero (alambre galvanizado), mediante alambre #8 que atravesó al muro para luego doblarlo 90° y amarrarlo a la malla con alambre #16.



Fig.7. Muro MT.



4. PRUEBAS DE HUMEDAD EN LAS UNIDADES DE ADOBE

Con la finalidad de analizar en la unidad de adobe el grado de impermeabilización de las distintas soluciones planteadas, se realizaron pruebas de Succión en un minuto y Absorción en 24 horas, siguiéndose la NTP 399.613 para ladrillos de arcilla cocida, esto se debió a que la Norma de Adobe E.080 no especifica procedimientos para estos ensayos.

Estas pruebas se ejecutaron sobre 3 especímenes de adobe convencional, 3 de adobe estabilizado con 5% de cemento, 3 de adobe tarrajado totalmente con mortero de cemento (sin

la malla de gallinero) y 3 de adobe recubierto totalmente con 2 capas del polímero acrílico “Plasticoat” (impermeabilizante usado en el canal de concreto armado).

El adobe convencional no aprobó la prueba de succión, desintegrándose su base en contacto con el agua, tampoco aprobó la prueba de absorción al desintegrarse totalmente. Para el caso en que se usó Plasticoat (sólo en la prueba de absorción), la capa impermeabilizante se expandió desligándose del adobe, por lo que tampoco aprobó la prueba.

4.1 Resultados Promedios de las Pruebas de Succión y Absorción

En la Tabla 1 se presenta los resultados promedios de las pruebas de succión y absorción para los especímenes que aprobaron las pruebas.

Tabla 1. Resultados promedios de Succión y Absorción.		
Tipo de adobe	Succión (gr/min/200cm ²)	Absorción
Estabilizado (usado en ME)	80	16 %
Tarrajeado (usado en MT)	16	10 %

En ambas pruebas puede notarse que el adobe tarrajeado superó ampliamente al adobe estabilizado al succionar y absorber menor cantidad de agua, requisito indispensable para mejorar el comportamiento ante la exposición prolongada de agua, en tanto que el adobe convencional no aprobó ninguno de estos ensayos y terminó desintegrándose.

4.2 Ascenso Capilar en la Prueba de Succión

Al finalizar la prueba de succión (contacto de la base del adobe con una película de agua de 3mm de espesor durante 1 minuto), pudo observarse (Fig.8) un ascenso capilar del agua en una altura de 2cm para el adobe convencional, 1cm para el adobe estabilizado y 0.5cm para el adobe tarrajeado, en una proporción 4:2:1, respectivamente, por lo que nuevamente el adobe tarrajeado superó al estabilizado y éste al convencional.



Fig.8. Ascenso capilar en la prueba de succión.

4.3 Variación de Dimensiones en la Prueba de Absorción

El adobe humedecido trata de expandirse volumétricamente, por lo que antes y después de haberse sumergido 24 horas en agua se midieron sus dimensiones, notándose un incremento del orden de 1mm en el adobe estabilizado, mientras que el adobe tarrajeado no mostró diferencias en sus dimensiones y el adobe convencional se desintegró totalmente.

5. PRUEBA DE INUNDACIÓN SIMULADA EN LOS MUROS

5.1 Técnica de Ensayo

Después de 28 días de haberse construido los cuatro muros, fueron sometidos a una inundación simulada mediante el siguiente protocolo:

- 1) Para medir la cantidad de agua absorbida por cada muro, se usó una cartilla de medición inversa en cada sector del canal, con divisiones cada centímetro y con una altura total de 30 centímetros (Fig.9-izquierda).
- 2) Para medir la cantidad de agua que sube a través de cada muro por capilaridad, se marcaron niveles horizontales espaciados a 5cm en cada muro (Fig.9-derecha).

Fig.9
Medición del volumen de agua absorbida (izq.) y del ascenso capilar (der.).



- 3) Se inundó los cuatro sectores del canal por separado con un volumen conocido de agua.
- 4) Desde el momento inicial de inundación se definieron dos periodos:
 - a. Periodo Corto de Inundación (PCI): hasta cumplir las 72 horas de inundación.
 - b. Periodo Prolongado de Inundación (PPI): desde el final del PCI hasta cumplir 16 días de inundación.
- 5) Durante el Periodo Corto de Inundación la base del muro pasa de un estado de humedad natural a un estado de saturación. De no soportar este período se considera que el muro no resiste la inundación. Este periodo intenta representar una inundación por crecida de ríos en la cual la reposición de agua es constante.
- 6) Durante el Periodo Prolongado de Inundación se entiende que la base del muro se encuentra saturada y que sobrevivió al ambiente agresivo. De colapsar un muro durante este periodo se considerará que es resistente a la inundación, pero como producto de esta, sufre daños irreparables por erosión que conllevan a descartar la solución empleada. Este periodo intenta representar la evaporación paulatina del agua y el desaguado de la inundación. Cualquier muro que se mantenga en pie luego de este periodo, se considerará como exitoso en cuanto a la mejora empleada.
- 7) Durante el Periodo Corto de Inundación se realizaron mediciones de absorción y capilaridad cada hora y cada 24 horas se repuso el volumen de agua perdida por absorción de los muros y evaporación. Durante este periodo se usó una filmadora de manera continua para registrar el instante de colapso del muro.
- 8) Durante el Periodo Prolongado de Inundación se realizaron mediciones de absorción y capilaridad cada 24 horas. Cada semana se repuso el volumen de agua perdida por absorción de los muros y evaporación. Durante este periodo se dilataron los tiempos de medición y reposición de agua, por lo que no fue filmado, sólo fue documentado mediante fotografías y mediciones diarias.
- 9) Concluido el ensayo se derrumbaron los muros desde la hilada superior, llevando un registro fotográfico de una unidad por cada 2 hiladas para documentar su consistencia al tacto y observar cuán húmedo se encontraba su núcleo al partirla en dos.

5.2 Comportamiento de los Muros

El muro Patrón (MP) resistió sólo 20 minutos de inundación (inferior al período corto de inundación), desintegrándose los adobes de la base para enseguida volcar el muro (Fig.10).

Los muros MC, ME y MT soportaron 16 días de inundación y su estado final aparece en la Fig.11.

Fig.10
Volcamiento del muro MP y estado de los adobes en la base.



Fig.11. Estado final de los muros MC, ME y MT tras 16 días de inundación y estado de los adobes localizados en la base de MT y ME.

5.3 Cuantificación de Resultados

Con la finalidad de comparar los resultados de las 3 técnicas que tuvieron comportamiento satisfactorio en el ensayo de inundación, se consideraron los siguientes factores:

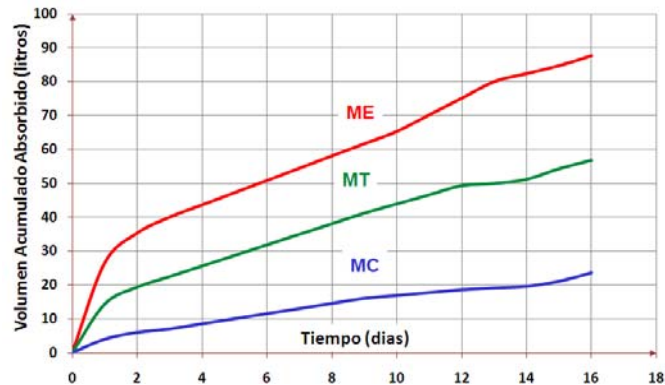
- Grado de Absorción y de Capilaridad en el ensayo de inundación de los muros.
- Grado de humedad de los adobes al terminar el ensayo de inundación simulada.
- Consistencia de los adobes de la base al terminar el ensayo de inundación.

Estos factores fueron cuantificados en proporciones relativas a la mejor técnica (MC) para tratar de obtener un “Índice Comparativo de Daño” ante inundaciones (acápite 5.4).

Factor “Grado de Absorción”

En la Fig.12 se muestra la absorción de agua (en litros) que tuvo cada muro durante los 16 días de ensayo. Allí puede notarse una rápida absorción de agua durante el período corto de inundación, mientras que durante el período largo de inundación las pendientes de las gráficas fueron: 4.07, 2.64 y 1.27 litros por día para los muros ME, MT y MC, respectivamente, prácticamente en una proporción 3: 2: 1.

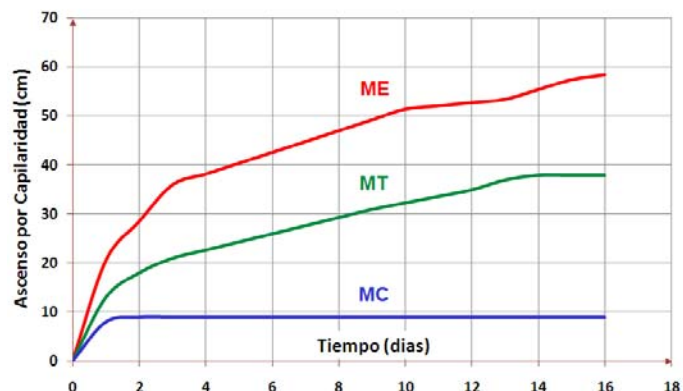
Fig.12
Volumen de agua absorbido por los muros ME, MT y MC.



Factor “Grado de Capilaridad”

En la Fig.13 se muestra el ascenso capilar (en centímetros) por encima del nivel del agua que tuvieron los muros durante los 16 días de inundación. Allí se aprecia que este ascenso para MC fue de 9cm sin llegar al adobe y se estabilizó a las 48 horas, por lo que al terminar la prueba la relación por ascenso capilar fue 1.65: 1: 0, para los muros ME, MT y MC, respectivamente.

Fig.13
Ascenso capilar en los muros ME, MT y MC.



Factor “Grado de Humedad de los Adobes”

Luego de terminar la prueba de inundación en los muros, se desmontaron sus 15 hiladas, notándose que las 8 primeras hiladas de ME y las 6 primeras de MT estaban húmedas, mientras que todos los adobes de MC estaban secos, por lo que la proporción por grado de humedad puede fijarse en 4: 3: 0 para los muros ME, MT y MC, respectivamente.

Factor “Consistencia de los Adobes de la Base”

Al tacto se comprobó que los adobes localizados en la base (Fig.11) de los muros ME y MT estaban en un estado de inestabilidad parcial, mientras que los adobes de MC estaban secos, por lo que la proporción puede fijarse en 1:1:0 para los muros ME, MT y MC, respectivamente.

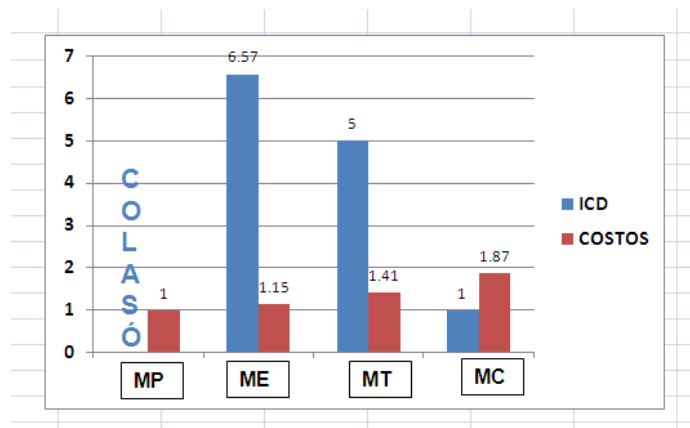
5.4 Índice Comparativo de Daños ante Inundaciones (ICD) y Costos

De acuerdo a la importancia de los 4 factores (indicados en el acápite 5.3) en generar daños en el muro por inundación, se asignaron pesos que luego se multiplicaron por los factores y se sumaron para determinar el ICD de cada muro. Los resultados aparecen en la Tabla 2, donde además aparece el costo de cada muro por unidad de área.

Tabla 2. Índice Comparativo de Daños (ICD) y Costos						
	Factor Capilaridad	Factor Absorción	Factor Humedad	Factor Consistencia	ICD	Costo Soles/m ²
Peso	10	30	10	50	100	
MP	Colapsó a los 20 minutos de iniciada la inundación					31.37
ME	1.65	3	4	1	197	36.02
MT	1	2	3	1	150	44.23
MC	0	1	0	0	30	58.69

La tabla 2 y la Fig.14 indican que duplicando el costo del muro patrón (MP), mediante una solución con sobrecimiento de concreto (MC), el daño por inundación es prácticamente nulo, mientras que aumentando el costo del muro patrón en 15% y 41%, mediante las soluciones de adobe estabilizado (ME) y tarrajeo de la base (MT), respectivamente, se logra evitar el colapso del adobe convencional ante las inundaciones, aunque la base del muro quede dañada.

Fig.14
ICD normalizado al muro menos dañado MC y Costos normalizados al muro patrón MP.



6.0 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

- Los ensayos demostraron la alta vulnerabilidad de los adobes convencionales ante la acción erosiva del agua, registrándose un tiempo estimado de colapso de la estructura de 20 minutos, con un tipo de falla frágil. Obviamente el tiempo señalado dependerá del espesor y de la consistencia del adobe. Por lo tanto, se recomienda evitar el uso del adobe convencional en zonas donde la probabilidad de ocurrencia de inundaciones sea elevada.
- La técnica con mejores resultados contra el colapso por inundación prolongada fue la utilización de un sobrecimiento de concreto simple en la base del muro de adobe convencional, con un peralte 30cm mayor que la altura de agua esperada. En esta técnica sólo se observó un ascenso de agua por capilaridad de 9cm en el concreto que no llegó a afectar a ningún adobe. Con esta técnica se duplicó el costo del muro de adobe convencional. Para abaratar costos, es necesario estudiar esta solución utilizando un sobrecimiento de concreto ciclópeo o de albañilería de arcilla industrial.
- Si se busca una solución acorde con la realidad peruana, se concluye que de las dos propuestas restantes (adobe estabilizado ME y tarrajeo de protección en la base del muro MT de adobe convencional), la solución tarrajeo de la base (MT) proporciona mejores resultados al presentar menor ascenso de agua por capilaridad y menor absorción de agua, aunque su costo es 23% mayor al de la solución adobe estabilizado (ME).
- La solución tarrajeo en la base (MT) podría aplicarse a viviendas existentes, mientras que las soluciones adobe estabilizado (ME) y sobrecimiento de concreto (MC) solo podrían aplicarse a viviendas nuevas. Esta solución MT podría mejorarse empleando un tarrajeo de cemento pulido.

REFERENCIAS

1. Reglamento Nacional de Edificaciones (2006). “*Norma Técnica de Edificación E.080 Adobe*”. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Lima, Perú.
2. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2007. “*Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda*”. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima, Perú.
3. Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayos en ladrillos de arcilla usados en albañilería. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales. INDECOPI. Lima, Perú.
4. San Bartolomé, A. (1994). “*Construcciones de Albañilería - Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural* - “. Fondo Editorial PUCP 1994 Lima, Perú.
5. Univision Videos. Reportaje “Inundación en la ciudad de Ica (flooding of the city of Ica) - <http://www.univision.com/uv/video/Inundaci%F3n-de-la-Ciudad-de-Ica---floodin/id/1988345202>
6. America TV. Reportaje: “Lluvias e inundaciones en Cusco – Enero 2010” - <http://www.youtube.com/watch?v=zbPpW5vORu4>
7. Videos del capítulo “Albañilería de Tierra Cruda” del blog <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>